

推行節能減碳護地愛家之生態工程

文、圖 ■ 劉福成 ■ 林務局南投林區管理處處長

許文奕 ■ 林務局南投林區管理處治山課技正（通訊作者）

一、前言

聯合國「跨國氣候變遷小組」（IPCC；Intergovernmental Panel on Climate Change）於2007年2月2日發表IPCC 2007報告指出，全球暖化趨勢對氣候的衝擊程度將比20世紀來得嚴重，預計本世紀全球氣溫與海平面上升幅度會比過去1,000年還大；到了本世紀末，可能出現如酷熱、乾旱、暴雨與大雪等極端氣候，颱風強度及頻率也會持續增加。

假如氣候暖化持續下去，台灣澇旱情況會越來越嚴重，印度洋上的花環群島－馬爾地夫恐被海水淹沒，甚至可能是人類及其他萬物走向滅亡的開端。所以節能減碳，防止地球持續「發燒」，成為近幾年來熱門的議題，也是最迫切要解決的問題。

台灣雖非聯合國會員國，但是節能減碳是全球的共識，身為地球村的一員不能置身事外。行政院農業委員會林務局南投林區管理處（以下簡稱本處）依循「健全森林碳管理」總目標，在治山工程部分，利用疏伐木等自然原生資材取代高耗能人造材料，並積極植樹造林加速森林復育，以實際的行動為節能減碳善盡一份心力。

二、對抗地球暖化政策－全球

科學家指出，全球溫室氣體必須於2015年開始下降，以控制全球溫度上升不會超過攝氏2度，否則氣候變化將對地球帶來不可逆轉的災難。聯合國自1972年6月16日於斯德哥爾摩通過的「聯合國人類環境會議宣言」起，逐步關注地球氣候的變化及其不利之影響；1985年「保護臭氧層維也納公約」和1990年6月29日調整修正之1987年「關於消耗臭氧層物質的蒙特婁議定書」，終於在1990年建立了氣候變化綱要公約，展開了政府之間的談判。

近年國際間針對溫室氣體減排有如后重要進程：

（一）聯合國氣候變化綱要公約（簡稱UNFCCC）：1992年5月9日通過，1994年3月21日正式生效。其目標為「將大氣中溫室氣體的濃度，穩定在防止氣候系統受到危險的人為干擾的水平上。這一水平應當在足以使生態系統，能夠自然地適應氣候變化、確保糧食生產免受威脅，並使經濟發展能夠可持續地進行的時間範圍內實現。」



(二) 京都議定書：1997年12月11日通過。京都議定書定義所謂「溫室氣體」包括二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟化碳(PFCs)及六氟化硫(SF₆)等6種，並要求包括OECD(經濟合作暨發展組織)、歐盟等已開發國家，與正向市場經濟轉型之國家，應承諾二氧化碳等6種溫室氣體總排放量，從1990年基準至少再減少5%。

(三) 哥本哈根會議：2009年12月7日至18日召開。京都議定書減少排放承諾期至2012年便結束，哥本哈根會議將決定2012年後的全球溫室氣體減排目標與強制履約機制。惟本次會議爭議不斷，由美國、中國、印度、巴西與南非等國主導提出之「哥本哈根協定」(Copenhagen Accord)尚未具法律約束力，如何在2012年京都議定書失效前設定未來的目標，值得觀察。

三、對抗地球暖化政策—台灣

我國自1992年成立「全球環境變遷工作小組」，並於1994年8月擴編提升為「行政院全球環境變遷政策指導小組」，配合全球環境保護趨勢，研訂與推動國內環境保護事務之整體策略，並積極參與各項國際組織及活動。

目前我國在推動林業及治山工程相關節能減碳政策主要有：

(一) 永續能源政策綱領：97年6月5日核定，全國二氧化碳排放減量，於2016年至2020年間回到2008年排放量，於2025年回到2000年排放量的減碳目標。

(二) 永續公共工程—節能減碳政策白皮書：97年10月17日核定，並定義永續公共工程為：符合環境保育、社會公義和經濟成長所規劃、建置、營運與管理之公共工程。公共工程在能源及資材有限及節能減碳之共識下，需因應全球氣候變遷及減少溫室氣體著眼，為地球盡一份心力。

(三) 森林碳管理策略：依據行政院農業委員會96年3月31日發布指出，森林資源對二氧化碳的減量策略、改善溫室效應，可由碳保存(Carbon Conservation)、碳吸存(Carbon Sequestration)、碳替代(Carbon Substitution)三方面來進行。茲簡要說明如后：

1. 碳吸存：加強土地管理，擴大森林生態系碳的貯存。可透過增加森林面積或提升天然和人工林的碳密度(Carbon Density)，亦可增加耐久性林產品的使用來貯存。



(圖片／高遠文化 攝影／游忠霖)

2· 碳保存：保存森林資源中已存在的碳庫（Carbon Pool），即防止或減少已經固定在碳匯（Carbon Sink）中的碳釋放率。包含：保護區設置、減少林地破壞和改善森林經營、土壤保育等方式。

3· 碳替代：將森林生質碳轉移至產品（如結構用材與生質燃料），藉以替代石化製品的能源與產品、水泥製品和其他建築材料。

四、計畫規劃方針及理念

森林藉由光合作用吸收二氧化碳，並隨樹木的增長而增加碳量的累積；當林木被收穫時，雖有部分原先林木所吸存的碳回歸於大氣，但大部分則以有機形式長期固定於木材。若治山工程以木材為主要材料，除達防減災效益外，更可延緩碳的釋放，在碳循環中具有調節的功能；而森林經整治後減緩坡地崩塌，可藉造林持續吸存大氣中的二氧化碳。

本處利用巒大事業區台灣柳杉人工林已屆伐期齡之疏伐木辦理治山防災工程，並規劃為國內主要兼具治理效益及教育解說之多功能展示區，透過實地解說更可了解生態工程的特色，並推廣節能減碳及發展中小徑疏伐木多樣化利用之政策。

本計畫規劃方針有四：

（一）永續公共工程：推動永續公共工程之政策目標之一即為落實節能減碳理念，與本計畫目標相符。

（二）國土保安：維護保安林內水土保持良好，以整體性自然區域考量，並發揮保安林經營管理效益。

（三）節能減碳：以疏伐木及河床淤積卵塊石等自然資材作為設計材料，透過有限資源的有效利用，達到預定整治效益外，且可避免破壞生態環境。

（四）教育宣導：透過建置具治理效益及教育解說之多功能展示區，突破以往治山工程「只做不說」的傳統思維。工程的本質除了國土整治效益評估外，生態環境教育宣導亦是重要的項目之一。

本計畫設計理念有三：

（一）土砂控制：橫向設施採木製節制壩（如照片1），可減少泥沙下移量，調整流心，避免坑溝冲刷擴大及穩定溪床高程。因疏伐材木構造物降低傳統大型混凝土壩體形成之視覺衝擊，利用於自然中與環境協調，且表面粗糙化及壩體低矮化不阻礙生物遷徙。

（二）坡地保育：邊坡保護設施採木製擋土構造物（如照片2），利用疏伐材構件先行組裝特性，可快速施設於崩塌地基腳處，避免持續崩塌，維持邊坡之安定。因良好排水，並可以階段方式設置，以調整邊坡坡



▲照片1 木節制壩。（攝影／許文奕）



▲照片2 木製校倉式擋土牆。(攝影/張為傑)

度，加速植生入侵。

(三) 生態景觀考量及加強植生造林 (如照片3)：利用植生可保護坡面，並提供生物繁衍之生育環境外，配合誘蝶或螢火蟲植物栽植，提供生物復育空間。以木本植物栽植除可與週遭環境相調和外，亦可加速恢復原始林相及孕育森林生物多樣性之生態環境。

五、計畫環境介紹

計畫範圍位於彰化縣二水鄉合和集水區，為第1704號土砂捍止保安林。二水鄉位於彰化縣最南端，東北以八卦山脈與南投縣名間鄉台地交界，南隔濁水溪與雲林縣林內鄉相望，北與彰化縣田中鎮、西與彰化縣溪州鄉相鄰，面積為29,449平方公里，為一由東縱向西北狹窄斜長之平原。合和集水區面積為763.09公頃，其重點治理野溪為廟前坑及坑內坑，分屬上豐村及合和村山區(如圖1)。

廟前坑及坑內坑工區地質分布以更新世為主，分別為頭崙山層、台地堆積層、紅土台地堆積層等，岩性大致以礫石、砂岩、頁岩及紅土為主。坡度為東北向，高程介於約



▲照片3 加強植生造林。(攝影/張為傑)

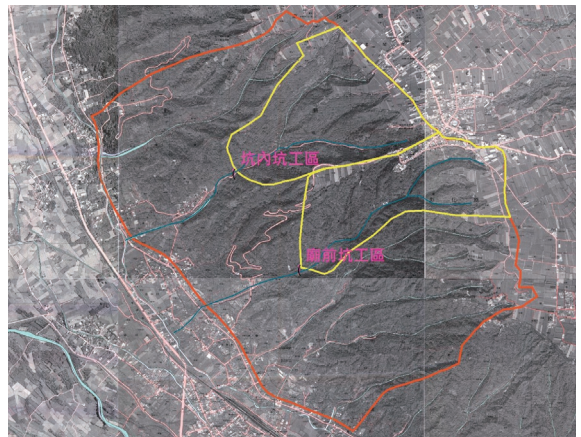


圖1 計畫範圍圖。(製作/張為傑)

75至410公尺間。下游多為2~3級坡，上游則達5~6級坡，平均坡度約38.2%。因上開地質地形特性，導致八卦山台地向源及指溝侵蝕發達，岩層膠結鬆散，源頭邊坡陡峭幾近垂直，遇雨易生表面冲刷崩塌，為野溪淤積主要土石料源。

計畫範圍屬亞熱帶季風氣候區，全年以7月為最高，1月為最低，年均溫約在23°C左右。又台灣為颱風主要路徑地區，且因地形關係致降雨量豐沛且集中，5~9月較多，10~2月較少，年平均雨量約為2,006.9毫米。近年來因地球暖化導致氣候變異並趨極端，以近幾年颱風24小時累積雨量為例，卡玫基颱

風（2008年）285毫米、辛樂克颱風（2008年）341毫米及莫拉克颱風（2009年）410毫米，雖非全台降雨量最高區域，但因降雨大且集中，亦達豪大雨或超大豪雨標準，且似有逐年增加趨勢，值得後續密切觀察。

觀光產業是本計畫重要評估指標，依山（八卦山）傍水（濁水溪）景色宜人。鄰近著名的景點除了有信仰中心—受天宮、二水—集集線鐵路、水利設施—八堡圳、台灣大禹—林先生廟等之外，步道系統的發達，包括本處的坑內坑步道、廟前坑步道、二八彎古道，以及其他機關管理的登廟步道、茶香步道、長青自行車道等，更是遊客健行及自行車運動愛好者的天堂。正因為本區以觀光



▲照片4 褐樹蛙。（攝影／弘益生態有限公司）



▲照片5 大琉璃紋鳳蝶。（攝影／弘益生態有限公司）

事業為主要收益來源，如有土砂災害甚至阻斷或危及步道使用安全，將影響觀光事業之經濟產值。

值得一提的是本區豐富的生態資源，本處98年度委託生態調查發現，計畫區內包括有台灣紫嘯鶉及五色鳥等台灣特有種，並有八哥、大冠鷲、松雀鷹、鳳頭蒼鷹、赤腹鷹、灰面鷲、老鷹及紅隼等二級保育類物種。由於區內蜜源植物豐富，故擁有蝶類5科25種，其中以鳳蝶科居多。其他兩棲類如褐樹蛙、貢德氏赤蛙、錦蛇等台灣特有種，亦可於區內發現（如照片4、5）。

另外台灣獼猴的蹤影時常在本區發現，故本處設立「二水台灣獼猴生態教育園區」，面積共計94.02公頃，設置有生態教育館可供一般民眾參觀和環境解說之用，這屬八卦山台地中下段之區外保安林，因海拔在175公尺至417公尺的陡峭山勢，成為獼猴最好的棲息地（如照片6）。

土砂下移會導致野溪淤積影響水源涵養，崩塌裸露缺乏植生破壞生物棲地，造成區內生態失衡。為此，本處除辦理整治外，



▲照片6 台灣獼猴。（攝影／張為傑）



並逐年委託辦理生態調查及評估作業，目的就是要深度了解此區之自然條件，並建置基礎環境資料。未來工程將建置管理維護計畫，作為日後制定生態工程之標準作業程序依據，辦理最適合森林的生態工程。

六、計畫內容

(一) 計畫執行期程

為使本計畫執行順利，在規劃設計前承蒙地方人士提供適地適情之資訊，謀得共識再予釐訂推行；另疏伐木多目標利用均依循「國有林林產物處分規則」各相關規定，廣疇為教育、展示等多功能用途，其餘規劃設計及施工作業均依政府採購法相關規定辦理，並於預定期限內完工結案。相關執行期程臚列如后：

- 1· 97年1月：林務局及本處初勘及經費核定。
- 2· 97年3月：協商二水護林協會取得土地使用同意書。
- 3· 97年7月：林務局核定疏伐木無償利用。
- 4· 97年8月：規劃測設招標及工程設計預算書審核。
- 5· 97年9月：工程招（決）標及施工前置作業。
- 6· 97年10月23日：工程開工。
- 7· 98年5月20日：工程完工。

(二) 工作團隊

- 1· 上級機關：行政院農業委員會

- 2· 主管機關：行政院農業委員會林務局

- 3· 主辦機關：行政院農業委員會林務局
南投林區管理處

- 4· 設計監造單位：建磊工程顧問有限公司

- 5· 施工單位：鉅冕營造有限公司

(三) 主要工程項目及經費

本計畫以工程全生命週期考量節能減碳，大量使用疏伐木作為主要施工材料，鋼筋混凝土僅用於基礎穩固等工項，故大幅降低高耗能材料用量。另在工區內妥善處理淤積土石並加以利用，不但能減少運輸所消耗的能源，直接減少二氧化碳排放，對於環境保育與公共安全亦有正面助益。

本計畫主要工程項目及經費如下：

- 1· 前置作業：疏伐材運送及加工防腐處理。
- 2· 廟前坑工區：木構造擋土牆、設施保護工、木製節制壩與排水改善工、木製集水框工、治山工程教育解說平台、木製排水溝。
- 3· 坑內坑工區：坡面保護工、漿砌石固床工、木製節制壩、排柵堆積式植生護坡、木製擋土柵、防災兼解說眺望點。

- 4· 設計預算金額：新台幣10,820仟元。

- 5· 發包工程金額：新台幣10,063仟元。

樹木是森林重要的資源，透過一系列疏伐木集材、選材、加工、組裝等流程並做成紀錄，建置標準作業程序，提供爾後辦理疏伐木利用之依據。



▲廟前坑工區實景圖。(攝影/黃俊豪)



▲廟前坑工區願景圖。(繪製/方玉蘭)



▲照片7 邊皮材製成木屑充分利用。(攝影/許文奕)

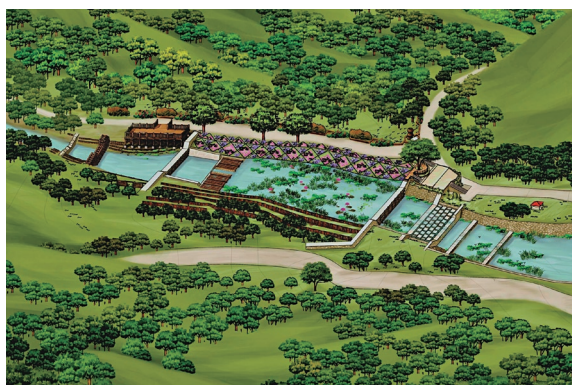
(四) 執行成效評估

1. 效益分析

疏伐木利用在加工所產生之剩餘材料處理，或是施工時對環境的擾動，均較不影響既有之生態環境。本計畫將製材後剩餘之邊皮材製成木屑，提供初期邊坡防止表面沖刷



▲坑內坑工區實景圖。(攝影/黃俊豪)



▲坑內坑工區願景圖。(繪製/方玉蘭)

之覆蓋材料，同時兼具土壤保濕及營造甲蟲生存空間之功能，更重要的是，不會有廢棄物產生，達到百分之百利用之最高目標（如照片7）。

另木構造物多數可以單元型式預先組裝。以人工組裝可減少重機械破壞及大量開挖坡面外，更可在加強施工人員教育訓練下加速施工進度。施工中必要之植生保護，以及對施工可能影響範圍之既有植栽，均於施工流程妥慎考量，以最小擾動為原則。

有關本計畫量化之效益分析如后：

(1) 保護土砂效益為16,713立方公尺，整治率44.5%，高於行政院農業委員會所訂立集水區整治率指標值33%。



(2) 坡地穩固恢復植生後，可增加地表粗糙度，使逕流更容易入滲，減少洪災損失及土壤流失。估計本計畫可保護在地居民約100人、下游農田約100公頃、道路（步道）約3公里及橋梁2座等安全。

(3) 利用疏伐木共約120,000材（324立方公尺），減少混凝土用量約為1,850立方公尺，可減少CO₂排放量1,647公噸，相當於5,150位國人在一年之CO₂呼出量。

(4) 保護坡地約1.5公頃，將加強辦理植生造林工作，預估20年內約可吸收570公噸的CO₂。

(5) 保護本區自然水池所具備的功能與環境條件之特殊性，建構具景觀遊憩及生活體驗之空間，提供野生動植物棲息、防災與滯洪之功能。

2 · 教育宣導成果

本計畫配合鄰近八卦山步道系統設立疏伐材木構造物示範區，並設置雙語解說牌介紹生態環境及生態工程之特色。生態工程與當地步道及景觀環境具一致性，配合原有自然風貌，觀光客到訪意願大幅提升，進而促進地方繁榮，營造300戶海豐寮聚落居民創業與就業機會，每年並增加地方交通、觀光、生態旅遊等經濟產值逾200萬元以上。

另本計畫配合辦理多場觀摩講習會，並多次由電子媒體及平面媒體報導，使生態工程及節能減碳的理念順利推展，間接推銷地方觀光景點（如照片8）。

3 · 極端氣候影響

有人可能會就疏伐木實際用於治山工程

之安全性的感到質疑，本計畫於完工後仍持續辦理相關監測作業，並紀錄汛期前後位移變化。以莫拉克颱風（2009年8月）為例，該次颱風帶來計畫區24小時累積410毫米及總累積627毫米之雨量，達超大豪雨標準。颱風之後，經檢視當時溪水應已漫過木製節制壩，惟當次颱風造成之豪雨及大量土石下移，未對其主結構造成損壞或明顯位移，並有效減緩土砂災害（如照片9）。

疏伐木用於治山工程之安全性尚不能以單一颱風豪雨事件評估，但對實際執行之工程人員來說不失為一項莫大的鼓舞，建議加強學理分析及持續監測，並有賴治山工程人



▲照片8 98年8月木構造研習班。（攝影／方玉蘭）



▲照片9 98年莫拉克颱風後木構造均為良好。（攝影／許文奕）

員深入研究加以推廣利用。

七、結語

雖然部分科學家針對人類工業活動所排放的二氧化碳導致全球暖化的說法表示存疑，但是善用地球有限的資源，一如台灣早期「珍惜節約」、「回收利用」的傳統美德，這些道理是千古不變的。

利用疏伐木辦理治山防災工程，可在短時間達到穩定坡面及減少土石下移，發揮木材再生利用極大化效能，在中長期目標仍是要加強植生造林工作以維護國土保安。在坡地復育於植生未導入前，仍需基礎工施予保護，故應考慮其生命週期，並規劃配合植栽隨時間演替恢復自然景觀，永續維護水土保持。

承蒙行政院農業委員會給予本工程優良農建工程獎的鼓勵（如照片10）。在執行本計畫期間，林務局長官多方指導，並配合林務



▲照片10 劉處長領取優良農建工程獎。（攝影／許文奕）

局委託中興大學水土保持學系林教授信輝科技計畫研究，實際將木構造相關設計圖說運用在治山工程之中，期待能創造專屬森林的生態工程，「取之於森林，用之於森林」，達到永續經營的目標。♻️

*謝誌：感謝參與本計畫工作團隊的所有人員。

參考文獻（請逕洽作者）



（圖片／高遠文化 攝影／楊美娟）